

表層混合攪拌処理工法による超軟弱地盤の改良について



所属名：岡山河川事務所 百間川出張所
発表者：小田 健二

1.はじめに

当事務所では平成 24 年度完成を目標に、百間川河口水門の増築事業を進めている。この事業の一環で、百間川河口で鋼矢板による仮締切及び河床の地盤改良を実施している。

河口部の地盤は細粒分、含水比が多く、重機や人が立ち入るためには、軟弱地盤対策工法を行う必要があった。今回、表層混合攪拌処理工法を選定し、大規模に地盤改良を実施しているため、施工事例の報告を行うものである。



図1 周辺状況

2.工事概要

工事名：百間川河口水門本体工事
工期：平成 18 年 3 月 11 日～平成 20 年 3 月 31 日

3.地質条件

地質については、N 値 0～1 が深度 13m も続く沖積粘土層で、含水比は約 130%、図 2 のように泥上バックホウも傾くほどの超軟弱地盤であった。



図2. 泥上バックホウ施工状況

4.工法の選定

軟弱地盤対策としては、下記①、②から置換工法等は困難であるため、表層混合攪拌処理工法による地盤改良を行うこととし、下記③～⑤の条件及び、改良厚による経済比較でロータリーミキシング工法（以下 RM 工法）、自動ロータリーミキシング工法（以下 ARM 工法）を選定した。

また、新技術のフィールド提供試行工事としてパワーブレンダー工法（以下 PB 工法）も水門本体に影響のない範囲で使用している。

表1 地盤改良数量

工法	対応深度 (m)	改良深度 (m)	改良面積 (m ²)	改良体積 (m ³)
RM工法	1.0～3.0m	2.0	1,500	3,000
		2.9	7,820	22,700
		3.2	7,820	25,000
		小計	17,140	50,700
ARM工法	3.0～5.0m	4.0	4,260	17,000
		4.3	1,620	7,000
		小計	5,880	24,000
PB工法	1.0～10.0m	4.0	3,480	13,900
合計			26,500	88,600

【表層混合攪拌処理工法の選定】

- ① $qc=200kN/mm^2$ 以下であり、改良しなければ現場搬出できない。
- ② 対策実施にあたりトラフィカビリティを確保する必要がある。

【RM 工法及び ARM 工法の選定】

- ③ 基礎地盤が軟弱であるため泥上車が必要
- ④ 固化材は施工性の良いスラリートイプ

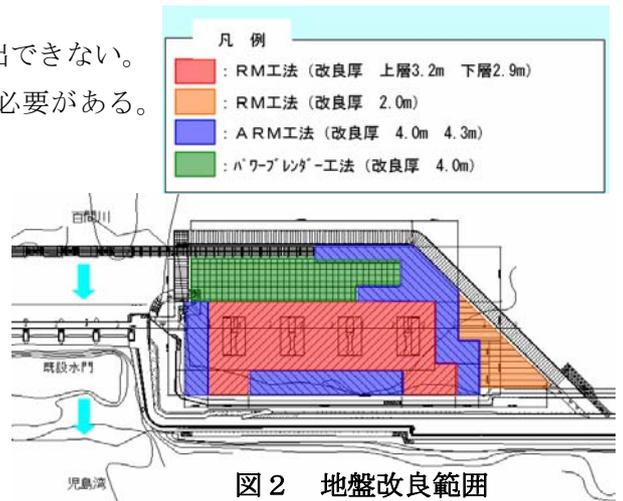


図2 地盤改良範囲

3.各工法の概要

ロータリースタビ工法(RM工法)

バックホウ及びマシンローラー攪拌機を取り付けて改良する工法で横軸攪拌のため混合効率が非常によく夾雑物も苦にせず、やや堅めの土にも適用できます。概ね、3mの深さまで対応します。この現場では、水門本体部（構造物部で改良精度重要部）とトラフィカビリティ（軽量）を確保する部分で使用しています。

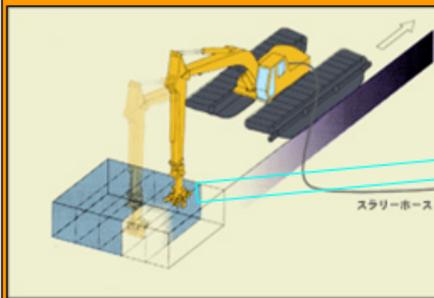


図3. ロータリー攪拌機

自動ロータリースタビ工法(ARM工法)

アームを多関節とし、垂直方向に回転する攪拌機をコンピュータで自動制御し「垂直性・定速性」を機械的に確保出来、改良率100%の均一な矩形柱を4~5mの深さまで連続的に造成します。アームが3点支点なので垂直移動時のブレを抑えます。この現場では、トラフィカビリティ（重量）を確保する部分で使用しています。

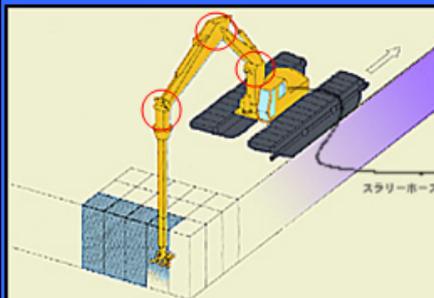


図4. 多関節アーム

パワーブレンダー工法(スラリー噴射方式)

※【NETIS】フィールド提供
セメント・セメント系固化材などの改良材をスラリー状に混練後、地中に噴射し現位置の軟弱土と改良材をパワーブレンダー（トレンチャー式攪拌機）により強制的に攪拌混合し、強固な地盤を造成します。能力的には概ね10mの深さまで対応出来ますが、この現場では試行工事として、トラフィカビリティ（重量）を確保する部分で使用しています。

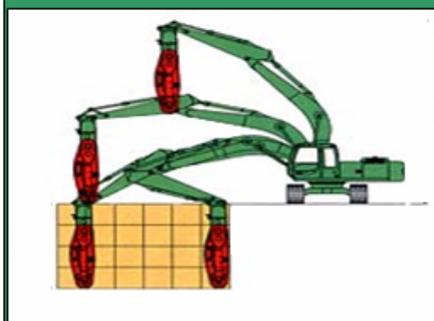


図5. トレンチャー式攪拌機

5.目標強度と固化材の配合

固化材の配合は、トラフィカビリティーの確保等を目的として強度を設定し、室内配合試験により決定している。

室内配合試験は、固化材料をセメント系固化材及び高炉セメント B 種の 2 種類、改良材添加量をそれぞれ 70, 160, 250 (kg/m³) の 3 種類行っており、固化材の添加量と強度の関係から最も経済性の良い表 2 の配合を採用した。

表 2. 目標強度と固化材の配合

工法	改良深度 (m)	目標改良強度 quf(KN/m ²)	固化材料	比重	添加量 (kg/m ³)	水固化材比 (w/c)
RM工法	2.0	350	高炉B種	3.04	75	100
	2.9	150	〃	〃	68	〃
	3.2	600	〃	〃	97	〃
ARM工法	4.0	350	〃	〃	75	〃
	4.3	350	〃	〃	75	〃
PB工法	4.0	350	〃	〃	75	〃

※混練水は百間川河川水

6.施工管理及び品質管理

地盤改良部分は不可視部分となるため、表 3 のとおり品質,出来形の確認を施工時および施工後でそれぞれ確認している。



表 3. 地盤改良の施工管理と品質管理

工法	改良深度 (m)	施工時の管理		品質管理		
		固化材添加量	改良厚さ (施工中)	改良厚さ (施工後)	均一性	強度
RM工法	2.0	・時間当りの吐出量を管理	残尺 +レーザーレベル	①ボーリング (本体下層) ②検測 (本体上層掘削部)	①の場合 コアの目視 ②の場合 掘削面の目視	コアのσ28 で一軸圧縮 試験
	2.9					
	3.2					
ARM工法	4.0	深度計	深度計 +レーザーレベル	サンプリング器により採取し、 フェノールフタレイン液で確認		
	4.3					
PB工法	4.0					

※レーザーレベル：発信機のレーザーを、改良機械のアームに取り付けた受光器が受け、高さを感じ取る仕組み

7.施工後の感想

本工事における地盤改良の作業効率は、概ね各工法の積算基準等のおりとなり、表 4 のとおり PB 工法の作業性の良さが証明された。また、PB 工法は大きな体積を一度に攪拌できるため、重ね施工量も軽減できる。

しかし、PB 工法は攪拌機が重たく軟弱地盤上での作業は不向きであり、改良した地盤から順々に作業を進めていく必要があった。今後の PB 工法の使用についても作業手順や他工法との併用等の施工方法を検討していく必要がある。

表4. 各工法の日当たり作業量と特徴

	日当たり施工量			利点	欠点
	改良深度 (m)	日当たり運転時間 (h)	日当たり改良土量 (m3)		
RM工法	2.0	6.6	140	・泥上タイプ有り	・運転技量が品質に大きく影響
ARM工法	4.0	6.6	130	・泥上タイプ有り ・攪拌機が自動稼働	・日当たり施工量が低い ・障害物があれば手動稼働
PB工法	4.0	5.3	290	・日当たり施工量が多い ・重ね施工量が少ない	・攪拌機が重たく、超軟弱地盤上での作業は不向き

※上記比較条件は積算基準を引用

8.本工事での課題

8.1 固化材の供給方法

- ・固化材供給のプラントヤードの確保が必要となる。
 対応) 地盤改良前に固化材供給のプラントヤードが確保できなかったため、台船を使用している。
 課題) 簡易なプラント等での対応



図8. 固化材プラント台船の使用

8.2 固化材の環境負荷

- ・固化材の使用により締切内の排水のPHが高くなる。
 対応) 締切内の排水を実施する際、PH中和装置を使用した。
 課題) 環境に配慮した固化材の使用



図9. PH中和装置の使用

8.3 改良土の有効利用

- ・改良強度により、用途が限られる。
 対応) 本事業で発生した改良土は水防拠点の基盤材料として使用した。
 課題) 改良土を有効活用するための情報交換



図10. 沖元水防拠点(洪水時)イメージ

9.おわりに

軟弱地盤の多い我が国では、表層混合攪拌処理工法による地盤改良は大変有効な技術であり、更なる技術向上が望まれている。本工事では NETIS のフィールド提供工事としてパワーブレンダー工法を使用しているが、今後も積極的に技術開発、技術革新に寄与していきたい。